

OSCILLATORE OTTICO CONTROLLATO IN TENSIONE PER UN ANELLO OTTICO AD AGGANCIO  
DI FASE A SINGOLA SOTTOPORTANTE

*Original*

OSCILLATORE OTTICO CONTROLLATO IN TENSIONE PER UN ANELLO OTTICO AD AGGANCIO DI FASE A  
SINGOLA SOTTOPORTANTE / Ferrero, Valter; Camatel, S.. - (2007).

*Availability:*

This version is available at: 11583/1675709 since: 2016-11-11T14:16:10Z

*Publisher:*

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

openAccess

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

## MODULO A (1/2)

AL MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO  
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI (U.I.B.M.)

TO 2007 A 000586

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE N°

MARCA DA BOLLO  
Ministero dell'Economia  
e delle Finanze  
Agenzia  
Entrate  
00027173 00001982 W0816001  
00020719 13/12/2006 09:16:28  
0001-00009 FB9BB9FF33B32827  
0 1 05 221159 544 6

## A. RICHIEDENTE/I

COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1	FONDAZIONE TORINO WIRELESS		
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2	PG	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3 97634160010
INDIRIZZO COMPLETO	A4	GALLERIA SAN FEDERICO 54, 10121 TORINO		
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1	POLITECNICO DI TORINO		
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2	PG	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3 00518460019
INDIRIZZO COMPLETO	A4	CORSO DUCA DEGLI ABRUZZI 24, 10129, TORINO		
<b>B. RECAPITO OBBLIGATORIO IN MANCANZA DI MANDATARIO</b>	B0	D	(D = DOMICILIO ELETTIVO, R = RAPPRESENTANTE)	
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	B1	FONDAZIONE TORINO WIRELESS		
INDIRIZZO	B2	CORSO GALILEO FERRARIS 64		
CAP/LOCALITÀ/PROVINCIA	B3	10129/TORINO/TO		
<b>C. TITOLO</b>	C1	OSCILLATORE OTTICO CONTROLLATO IN TENSIONE PER UN ANELLO OTTICO AD AGGANCIAMENTO DI FASE A SINGOLA SOTTOPORTANTE		

## D. INVENTORE/I DESIGNATO/I (DA INDICARE ANCHE SE L'INVENTORE COINCIDE CON IL RICHIEDENTE)

COGNOME E NOME	D1	FERRERO VALTER
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	CAMATEL STEFANO
NAZIONALITÀ	D2	ITALIANA
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	

CAMERA DI COMMERCIO  
INDUSTRIA, ARTIGIANATO E AGRICOLTURA  
DI TORINO  
DIRITTO DEPOSITO € 10  
COPIA AUTENTICA € 2

SEZIONE	CLASSE	SOTTOCLASSE	GRUPPO	SOTTOGRUPPO
E1	E2	E3	E4	E5

## F. PRIORITA'

DERIVANTE DA PRECEDENTE DEPOSITO ESEGUITO ALL'ESTERO

STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	

## G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA COLTURE DI MICROORGANISMI

FIRMA DEL/DEI	G1	
RICHIEDENTE/I	POLITECNICO DI TORINO	

Istituto Superiore Mario Boella  
Il Presidente

Prof. Rodolfo Zich

Fondazione Torino Wireless  
Il Presidente  
Prof. Rodolfo Zich

# MODULO A (2/2)

## I. MANDATARIO DEL RICHIEDENTE PRESSO L'UIBM

LA/E SOTTOINDICATA/E PERSONA/E HA/HANNO ASSUNTO IL MANDATO A RAPPRESENTARE IL TITOLARE DELLA PRESENTE DOMANDA INNANZI ALL'UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI CON L'INCARICO DI EFFETTUARE TUTTI GLI ATTI AD ESSA CONNESSI (DPR 20.10.1998 N. 403).

NUMERO ISCRIZIONE ALBO COGNOME E NOME;	I1	
DENOMINAZIONE STUDIO	I2	
INDIRIZZO	I3	
CAP/LOCALITÀ/PROVINCIA	I4	
L. ANNOTAZIONI SPECIALI	L1	

## M. DOCUMENTAZIONE ALLEGATA O CON RISERVA DI PRESENTAZIONE

TIPO DOCUMENTO	N. ES. ALL.	N. ES. RIS.	N. PAG. PER ESEMPLARE
PROSPETTO A, DESCRIZ., RIVENDICAZ. (OBBLIGATORI 2 ESEMPLARI)	1	0	33
DISEGNI (OBBLIGATORI SE CITATI IN DESCRIZIONE, 2 ESEMPLARI)	2	0	3
DESIGNAZIONE D'INVENTORE	1	1	
DOCUMENTI DI PRIORITÀ CON TRADUZIONE IN ITALIANO			
AUTORIZZAZIONE O ATTO DI CESSIONE			

(SI/NO)

LETTERA D'INCARICO

NO

PROCURA GENERALE

NO

RIFERIMENTO A PROCURA GENERALE

NO

(LIRE/EURO)

IMPORTO VERSATO ESPRESSO IN LETTERE

ATTESTATI DI VERSAMENTO

EURO

QUATTROCENTO /100

FOGLIO AGGIUNTIVO PER I SEGUENTI  
PARAGRAFI (BARRARE I PRESCELTI)  
DEL PRESENTE ATTO SI CHIEDE COPIA  
AUTENTICA? (SI/NO)

A

X

D

F

SI

SI CONCEDE ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL  
PUBBLICO? (SI/NO)

NO

DATA DI COMPILAZIONE

24/07/2007

FIRMA DEL/DEI

POLITECNICO DI TORINO

RICHIEDENTE/I

Istituto Superiore Mario Boella

Il Presidente

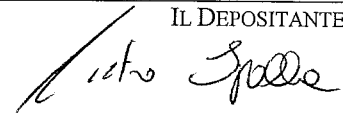
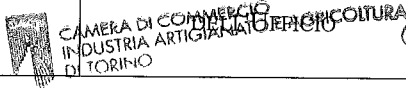
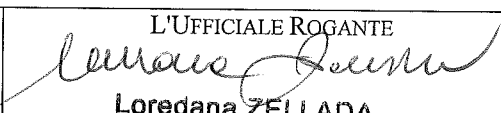
Prof. Rodolfo Zich

Fondazione Torino Wireless

Il Presidente

Prof. Rodolfo Zich

## VERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA	TO 2007 A 000586		
C.C.I.A.A. DI	TORINO		COD.
IN DATA	6 AGO 2007	IL/ I RICHIEDENTE/ I SOPRAINDICATO/ I HA/ HANNO PRESENTATO A ME	
LA PRESENTE DOMANDA CORREDATA DI N.	1	FOGLI AGGIUNTIVI PER LA CONCESSIONE DEL BREVETTO SOPRARIPORTATO.	
N. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIALE ROGANTE	Si allega ricante di riassunto delle tene di cui a autiche attestazione		
IL DEPOSITANTE	TIMBRO		L'UFFICIALE ROGANTE
			
			Loredana ZELLADA CATEGORIA G

## FOGLIO AGGIUNTIVO MODULO A

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE N° **10 2007 A 000586**

FOGLIO AGGIUNTIVO N.	1
DI TOTALI:	1

**A. RICHIEDENTE/I**

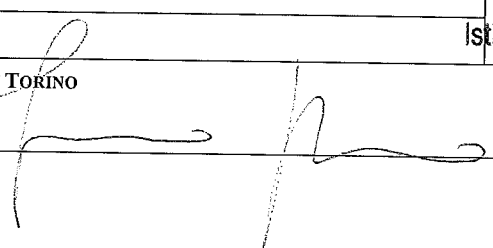
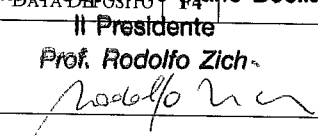
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1	ISTITUTO SUPERIORE MARIO BOELLA SULLE TECNOLOGIE DELL'INFORMAZIONE E DELLE TELECOMUNICAZIONI			
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2	PG	COD. FISCALE PARTITA IVA	A3	97600940015
INDIRIZZO COMPLETO	A4	VIA PIER CARLO BOGGIO 61, 10138 TORINO			
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1				
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2		COD. FISCALE PARTITA IVA	A3	
INDIRIZZO COMPLETO	A4				
COGNOME E NOME O DENOMINAZIONE	A1				
NATURA GIURIDICA (PF/PG)	A2		COD. FISCALE PARTITA IVA	A3	
INDIRIZZO COMPLETO	A4				

**D. INVENTORE/I DESIGNATO/I**

COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	
COGNOME E NOME	D1	
NAZIONALITÀ	D2	

**F. PRIORITA'**

DERIVANTE DA PRECEDENTE DEPOSITO ESEGUITO ALL'ESTERO

STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
STATO O ORGANIZZAZIONE	F1		TIPO	F2	
NUMERO DI DOMANDA	F3		DATA DEPOSITO	F4	
FIRMA DEL/DEI RICHIEDENTE/I	POLITECNICO DI TORINO  Istituto Superiore Mario Boella Il Presidente Prof. Rodolfo Zich  Fondazione Torino Wireless Il Presidente Prof. Rodolfo Zich				

D E S C R I Z I O N E

del brevetto per invenzione industriale

di ISTITUTO SUPERIORE MARIO BOELLA SULLE TECNOLOGIE  
DELL'INFORMAZIONE E DELLE TELECOMUNICAZIONI

5 di nazionalità italiana,

con sede in VIA PIER CARLO BOGGIO 61, 10129 TORINO;

di POLITECNICO DI TORINO

di nazionalità italiana,

con sede in CORSO DUCA DEGLI ABRUZZI 24, 10129 TORINO;

10 e

di FONDAZIONE TORINO WIRELESS,

di nazionalità italiana,

con sede in GALLERIA S.FEDERICO 54, 10121 TORINO.

Inventori: FERRERO Valter, CAMATEL Stefano

15

\*\*\* \*\*\*\*\* \*\*\*

La presente invenzione è relativa ad un  
oscillatore ottico controllato in tensione per un  
anello ottico ad aggancio di fase.

20 Gli anelli ad aggancio di fase ottici (Optical  
Phase Locked Loop - OPLL) sono dispositivi ottici  
utilizzati nella sintesi di frequenza e nella  
demodulazione coerente in sistemi di comunicazione  
ottici per generare localmente un segnale ottico con  
frequenza e fase che inseguono quelle di un segnale  
25 ottico di ingresso.

In particolare, un OPLL è essenzialmente formato da un rivelatore di fase ottico, da un filtro elettrico d'anello, e da un oscillatore ottico controllato in tensione (Optical Voltage Controlled Oscillator -  
5 OVCO).

In particolare, il rivelatore di fase riceve in ingresso un segnale ottico da agganciare ed un segnale ottico agganciato, ossia avente frequenza e fase "agganciate" a quelle del segnale ottico di ingresso,  
10 fornito dall'OVCO, e fornisce in uscita un segnale elettrico d'errore indicativo della differenza di fase esistente fra i segnali ottici di ingresso.

Il segnale elettrico d'errore generato dal rivelatore di fase 2 viene fornito in ingresso al  
15 filtro d'anello, il quale ha una funzione di trasferimento di tipo passa basso e fornisce in uscita un segnale elettrico d'errore filtrato che viene quindi fornito in ingresso all'OVCO, il quale fornisce in uscita il summenzionato segnale ottico agganciato, la  
20 cui frequenza istantanea varia proporzionalmente con l'ampiezza del segnale elettrico filtrato.

Gli OVCO sono generalmente realizzati mediante laser accordabili allo stato solido o a semiconduttore modulabili direttamente, i quali, sebbene utilizzati  
25 nel passato, presentano tuttavia alcuni inconvenienti

che condizionano fortemente l'utilizzo degli OPLL in cui sono inseriti.

In particolare, sebbene presentino indubbi pregi in termini di efficienza spettrale e funzionalità (insensibilità agli effetti non-lineari) derivanti dalla ridotta larghezza di riga dei laser allo stato solido, gli OPLL utilizzanti OVCO basati su laser allo stato solido sono però difficilmente applicabili ai sistemi di comunicazione ottica in quanto il reperimento di laser allo stato solido funzionanti nella griglia di frequenza stabilita dalla ITU (International Telecommunication Union) è alquanto difficoltoso, sono molto voluminosi ed ingombranti, richiedono molta potenza per il loro funzionamento, e sono nettamente più costosi degli OPLL utilizzanti OVCO basati su laser a semiconduttore.

Questi ultimi, sebbene notevolmente meno costosi degli OPLL utilizzanti OVCO basati su laser allo stato solido, richiedono però l'impiego di una tecnologia a contro-reaione distribuita (Distributed FeedBack: DFB) che richiede l'utilizzo di circuiti elettronici di contro-reaione a larga banda, a causa della notevole larghezza di riga dei laser a semiconduttore controllati direttamente ed una corrente di iniezione estremamente elevata a causa del funzionamento non

ideale di tali dispositivi.

La costante richiesta di mercato di velocità di trasmissione dati sempre più elevate farà sì che l'elevata efficienza spettrale e l'insensibilità agli  
5 effetti non lineari degli OPLL saranno un fattore  
fondamentale nei sistemi di comunicazione ottici della prossima generazione.

Osservando infatti l'evoluzione dei sistemi di trasmissione attuali, è immediato constatare che le  
10 prestazioni dei sistemi di trasmissioni standard a modulazione di intensità e rivelazione diretta (IM-DD) basati sui formati "No Return to Zero" (NRZ) o "Return to Zero" (RZ) si stanno avvicinando sempre più ai limiti teorici in termini di efficienza spettrale ed  
15 insensibilità agli effetti non lineari.

Per tali ragioni, ai fini di incrementare le prestazioni dei sistemi di comunicazione ottici, l'unica soluzione attualmente percorribile sembrerebbe essere quella di una rilevante modifica della struttura  
20 del sistema di trasmissione, ad esempio utilizzando, in trasmissione, modulazioni di fase, di frequenza, di ampiezza e loro eventuali combinazioni, come ad esempio PSK (Phase Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), QAM (Quadrature Amplitude Modulation), ecc, ed, in  
25 ricezione, una rivelazione omodina coerente.



A titolo di esempio, un sistema di trasmissione binario PSK con rivelazione coerente omodina ha una sensibilità migliore di 3,5 dB rispetto ad un sistema di trasmissione standard IM-DD con formato NRZ. Tale  
5 vantaggio può esser utilizzato per ridurre di circa 3,5 dB la potenza ottica media richiesta per ogni canale di trasmissione. In termini di potenza di picco si ottiene quindi una riduzione di circa 6,5 dB che riduce drasticamente gli effetti non lineari in fibra, fonte  
10 di degrado delle prestazioni.

Come ulteriore esempio, un sistema di trasmissione 4-PSK ha un'occupazione spettrale dimezzata rispetto ad un sistema di trasmissione binario standard con formato NRZ.

15 Nella letteratura esistono PLL ottici che tentano di ovviare agli inconvenienti di cui sopra basati sulla modulazione di sottoportante (SC-OPLL, brevetto "OSCILLATORE OTTICO CONTROLLATO IN TENSIONE PER UN ANELLO OTTICO AD AGGANCIO DI FASE", inventori: Ferrero,  
20 Gaudino, N. domanda TO2003A000708, e US2004/0208643). Tali PLL ottici presentano però alcuni inconvenienti. In particolare, il segnale agganciato S2 ha all'interno una componente spettrale utile all'aggancio del segnale ottico ricevuto S1, ma anche una componente spettrale  
25 spuria di potenza pari a quella utile, che limita

fortemente l'utilizzo di tale PLL nelle applicazioni a  
multiplazione di lunghezza d'onda (WDM), tanto che per  
utilizzare tale PLL in presenza di segnali ottici WDM  
e' necessario aumentare il più possibile la frequenza  
5 del VCO elettrico (40 - 50 GHz o più) con conseguente  
maggiore complessità realizzativa e quindi incremento  
dei costi. Si noti inoltre che nelle summenzionate  
domande di brevetto viene contemplato l'utilizzo di un  
modulatore ottico di ampiezza oppure di un modulatore  
10 ottico di fase.

Nella presente domanda di brevetto il modulatore  
utilizzato deve essere di diversa tipologia. Infatti,  
affinché si possa generare la singola sottoportante, il  
modulatore ottico deve essere in grado di modulare sia  
15 la fase sia l'ampiezza del segnale ottico in ingresso.  
Tale tipologia di modulatore ottico e' solitamente  
denominato modulatore ottico di fase e ampiezza QAM e  
di sua natura avrà due ingressi elettrici per i segnali  
modulanti, un ingresso ottico per il segnale ottico da  
20 modulare e un'uscita ottica per il segnale modulato.

Scopo della presente invenzione è quello di  
realizzare un OVCO per un OPLL che consenta di ovviare  
almeno in parte agli inconvenienti degli OPLL noti  
25 sopra descritti.

Secondo la presente invenzione viene realizzato un oscillatore ottico controllato elettricamente (OVCO) per la generazione di una singola sottoportante ottica, come definito nella rivendicazione 1.

5 Secondo la presente invenzione viene inoltre realizzato un anello ottico ad aggancio di fase, come definito nella rivendicazione 9.

Per una migliore comprensione della presente invenzione ne viene ora descritta una forma di  
10 realizzazione preferita, a puro titolo di esempio non limitativo e con riferimento alla Figura 1 allegata, nella quale è mostrato uno schema a blocchi di principio di un anello ottico ad aggancio di fase secondo l'invenzione.

15 In particolare, nella Figura 1 è indicato con 1, nel suo insieme, un OPLL secondo la presente invenzione, il quale comprende essenzialmente un rivelatore ottico di fase 2, un filtro elettrico d'anello 3, un OVCO 4 ed un controllore di  
20 polarizzazione 5.

Il rivelatore ottico di fase 2 comprende un accoppiatore ottico 6 ricevente in ingresso un segnale ottico da agganciare  $\vec{S}_1$  ed un segnale ottico agganciato  $\vec{S}_2$  fornito dall'OVCO 4 e fornente in uscita un segnale  
25 ottico accoppiato  $\vec{S}_3$ .

In particolare, supponendo di lavorare, per semplicità, su segnali monocromatici, e indicando con:

$$\begin{aligned} \vec{S}_1 &= S_1 \cdot e^{j(\omega_1 t + \varphi_1)} \cdot \hat{S}_1 \\ \vec{S}_2 &= S_2 \cdot e^{j(\omega_2 t + \varphi_2)} \cdot \hat{S}_2 \end{aligned}$$

in cui sono:

$S_1, S_2$  : ampiezze dei campi elettromagnetici  $\vec{S}_1$  e  $\vec{S}_2$

$\omega_1, \omega_2$  : pulsazioni ottiche di  $\vec{S}_1$  e  $\vec{S}_2$

$\varphi_1, \varphi_2$  : fasi ottiche di  $\vec{S}_1$  e  $\vec{S}_2$

$\hat{S}_1, \hat{S}_2$  : polarizzazioni ottiche di  $\vec{S}_1$  e  $\vec{S}_2$

il segnale ottico accoppiato  $\vec{S}_3$  fornito in uscita dall'accoppiatore ottico 6 può essere rappresentato mediante la seguente espressione generale:

$$\vec{S}_3 = \vec{S}_1' + \vec{S}_2' = k_1 \cdot S_1 \cdot \hat{S}_1' \cdot e^{j(\omega_1 t + \varphi_1 + \varphi_1')} + k_2 \cdot S_2 \cdot \hat{S}_2' \cdot e^{j(\omega_2 t + \varphi_2 + \varphi_2')}$$

in cui:

$$\hat{S}_1' = \hat{S}_1 \cdot M_1$$

$$\hat{S}_2' = \hat{S}_2 \cdot M_2$$

e dove sono:

$k_1, k_2$  : fattori di attenuazione delle ampiezze dei campi elettromagnetici  $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$ , introdotti sull'uscita dall'accoppiatore ottico,

$\varphi_1', \varphi_2'$  : sfasamenti introdotti sull'uscita  
dall'accoppiatore ottico,

$\hat{s}_1', \hat{s}_2'$  : polarizzazioni ottiche di  $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$   
sull'uscita dell'accoppiatore ottico,

5  $M_1, M_2$  : matrici (2x2) di rotazione delle  
polarizzazioni ottiche di  $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$

Un esempio di accoppiatore ottico 6 può essere  
rappresentato da un accoppiatore a 3 dB ideale, nel  
quale sono:

10

$$\varphi_1' = 0^\circ; \varphi_2' = 90^\circ; k_1 = k_2 = 1/\sqrt{2}, M_1 = M_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Un ulteriore esempio di accoppiatore ottico 6 può  
essere rappresentato da un accoppiatore ibrido a  $90^\circ$   
ideale, il quale è un dispositivo ottico avente due  
15 uscite ottiche fornenti, rispettivamente, un segnale  
ottico  $\vec{S}_3$  ed un segnale ottico  $\vec{S}_4$  le cui espressioni  
generali sono le seguenti:

$$20 \quad \vec{S}_3 = \vec{S}_1'_{out1} + \vec{S}_2'_{out1} = k_{1\_out1} \cdot S_1 \cdot \hat{s}_1'_{out1} \cdot e^{j(\omega_1 t + \varphi_1 + \varphi_1'_{out1})} + k_{2\_out1} \cdot S_2 \cdot \hat{s}_2'_{out1} \cdot e^{j(\omega_2 t + \varphi_2 + \varphi_2'_{out1})}$$

$$\vec{S}_4 = \vec{S}_1'_{out2} + \vec{S}_2'_{out2} = k_{1\_out2} \cdot S_1 \cdot \hat{s}_1'_{out2} \cdot e^{j(\omega_1 t + \varphi_1 + \varphi_1'_{out2})} + k_{2\_out2} \cdot S_2 \cdot \hat{s}_2'_{out2} \cdot e^{j(\omega_2 t + \varphi_2 + \varphi_2'_{out2})}$$

in cui:

25

$$\begin{aligned}\varphi_{2'out1} &= \varphi_{1'out1}; & k_{1\_out1} &= k_{2\_out1} = 1/\sqrt{2}, \\ M_{1\_out1} &= M_{2\_out1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \\ \varphi_{2'out2} &= \varphi_{1'out2} + 90^\circ; & k_{1\_out2} &= k_{2\_out2} = 1/\sqrt{2}, \\ M_{1\_out2} &= M_{2\_out2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}\end{aligned}$$

5 e dove sono:

$k_{1\_out1}, k_{2\_out1}$  : fattori di attenuazione delle  
ampiezze dei campi elettromagnetici  
 $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$  introdotti sulla prima  
uscita dall'accoppiatore ottico,

10  $k_{1\_out2}, k_{2\_out2}$  : fattori di attenuazione delle  
ampiezze dei campi elettromagnetici  
 $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$  introdotti sulla seconda  
uscita dall'accoppiatore ottico,

15  $\varphi_{1'out1}, \varphi_{2'out1}$  : sfasamenti introdotti sulla prima  
uscita dall'accoppiatore ottico,

$\varphi_{1'out2}, \varphi_{2'out2}$  : sfasamenti introdotti sulla seconda  
uscita dall'accoppiatore ottico,

$\hat{s}_{1'out1}, \hat{s}_{2'out1}$  : polarizzazioni ottiche di  $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$   
sulla prima uscita  
dell'accoppiatore ottico,

20  $\hat{s}_{1'out2}, \hat{s}_{2'out2}$  : polarizzazioni ottiche di  $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$   
sulla seconda uscita  
dell'accoppiatore ottico,

$M_{1\_out1}, M_{2\_out1}$  : matrici (2x2) di rotazione delle



polarizzazioni ottiche di  $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$   
sulla prima uscita  
dell'accoppiatore ottico, e

5  $M_{1\_out2}, M_{2\_out2}$  : matrici (2x2) di rotazione delle  
polarizzazioni ottiche di  $\vec{S}_1$  ed  $\vec{S}_2$   
sulla seconda uscita  
dell'accoppiatore ottico.

Il rivelatore di fase 2 comprende inoltre un  
fotorivelatore 7 ricevente in ingresso il segnale  
10 ottico accoppiato  $\vec{S}_3$  generato dall'accoppiatore ottico  
6 e fornente in uscita un segnale elettrico d'errore  
 $V_{PD}$  in tensione indicativo della differenza di fase  
esistente fra il segnale ottico da agganciare  $\vec{S}_1$  ed il  
segnale ottico agganciato  $\vec{S}_2$ .

15 Il segnale elettrico d'errore viene quindi fornito  
in ingresso al filtro elettrico d'anello 3, il quale è  
un filtro del tipo comunemente utilizzato negli anelli  
ad aggancio di fase elettrici e fornisce in uscita un  
segnale elettrico d'errore filtrato  $V_{PDF}$ .

20 Il segnale elettrico d'errore filtrato  $V_{PDF}$  viene  
quindi fornito in ingresso all'OVCO 4, il quale genera  
in uscita il summenzionato segnale ottico agganciato  
 $\vec{S}_2$ , la cui frequenza varia proporzionalmente con  
l'ampiezza del segnale elettrico d'errore filtrato  $V_{PDF}$ .

25 Il controllore di polarizzazione 5 è disposto in

corrispondenza dell'ingresso dell'accoppiatore ottico 6 sul quale viene ricevuto il segnale ottico da agganciare e modifica, in modo di per sé noto e quindi non descritto in dettaglio, la polarizzazione ottica del segnale ottico da agganciare in modo tale che le polarizzazioni ottiche del segnale ottico da agganciare e del segnale ottico agganciato siano parallele fra loro all'ingresso del fotorivelatore 7.

Secondo un aspetto della presente invenzione, l'OVCO 4 comprende essenzialmente un oscillatore elettrico controllato in tensione 8 (Electrical Voltage Controlled Oscillator - EVCO), una sorgente laser non modulata (Continuous Wave Laser Source) 9, un modulatore ottico di fase e di ampiezza QAM 10 ed un accoppiatore direzionale elettrico 11.

L'EVCO 8 è un oscillatore avente una propria frequenza libera di oscillazione definibile in fase di progetto e la cui uscita è costituita da un segnale sinusoidale la cui deviazione di frequenza rispetto alla frequenza libera di oscillazione è proporzionale all'ampiezza del segnale elettrico fornito al suo ingresso. Nel caso specifico, l'EVCO 8 riceve in ingresso il segnale elettrico d'errore filtrato  $V_{PDF}$  fornito dal filtro elettrico d'anello 3 e fornisce in uscita un segnale elettrico modulante  $V_{EVCO}$  costituito



da una tensione avente un andamento sinusoidale con frequenza che è funzione dell'ampiezza del segnale elettrico d'errore filtrato  $V_{PDF}$ .

La sorgente laser non modulata 9 è costituita da  
5 una sorgente laser a semiconduttore a cavità esterna del tipo comunemente reperibile in commercio e realizzata con tecnologia DFB tipica per le applicazioni DWDM e generante una portante ottica  $S_{oc}$ ,  
10 ossia un segnale ottico pressoché monocromatico, ovvero avente un campo elettromagnetico ottico con andamento "quasi idealmente" sinusoidale, e frequenza ottica regolabile.

L'accoppiatore direzionale elettrico 11 riceve in ingresso il segnale  $V_{EVC0}$  (sinusoidale) generato  
15 dall'EVC0 8 e fornisce sulle uscite elettriche due segnali elettrici modulanti  $V_{EIN1}$  e  $V_{EIN2}$  (sinusoidali) alla stessa frequenza e con una relazione ben specifica di fase, le considerazioni elencate precedentemente sull'accoppiatore ottico si possono applicare anche al  
20 presente accoppiatore direzionale elettrico.

Il modulatore ottico di fase e ampiezza QAM 10 riceve, su un ingresso ottico, la portante ottica  $S_{oc}$  generata dalla sorgente laser 9 e, sui due ingressi elettrici, i segnali elettrici modulanti  $V_{EIN1}$  e  $V_{EIN2}$   
25 (sinusoidali) generati dall'accoppiatore direzionale

elettrico 11 (eventualmente amplificati mediante dei drivers per modulatori ottici), e fornisce su un'uscita ottica il summenzionato segnale ottico agganciato  $\vec{S}_2$ , le cui fase e frequenza sono funzione del segnale elettrico  $V_{EVC0}$  generato dall'EVC0 8 per i motivi che verranno qui di seguito descritti. Eventualmente, è possibile interporre tra l'uscita del modulatore ottico 10 e l'accoppiatore ottico 6 del rivelatore di fase ottico 2 un amplificatore ottico 17 (Optical Amplifier, OA) e/o un filtro ottico 18, come mostrato, a titolo esemplificativo, in Figura 3.

Nel complesso, è possibile considerare la coppia costituita dall'accoppiatore direzionale elettrico 11 (in alternativa, ibrido elettrico) e dal modulatore ottico di fase e ampiezza QAM 10 come mezzi modulatori ottici 12. Detti mezzi modulatori ottici presentano un ingresso ottico, che riceve la portante ottica  $S_{0c}$ , un ingresso elettrico, che riceve il segnale elettrico modulante, e un'uscita ottica che fornisce il segnale ottico modulato  $\vec{S}_2$ , ottenuto modulando detta portante ottica  $S_{0c}$  con il segnale elettrico presente sull'ingresso elettrico di detti mezzi modulatori ottici 12.

Il funzionamento dell'OPLL 1 verrà qui di seguito descritto iniziando da quello dell'OVCO 4 e supponendo

soddisfatte le seguenti condizioni operative dell'OVCO  
4 stesso:

a) Il modulatore di fase e ampiezza QAM 10  
descritto nella Figura 2 allegata, riportato a solo  
5 titolo di esempio al fine di consentire una migliore  
comprensione, è realizzato internamente mediante i due  
modulatori di ampiezza collegati in parallelo 14 e 15  
tramite due accoppiatori ottici 13 e 16. I segnali di  
ingresso elettrici  $V_{EIN1}$  e  $V_{EIN2}$  sono applicati  
10 rispettivamente ai modulatori di ampiezza 14 e 15. I  
due segnali ottici risultanti sono quindi ricombinati  
dall'accoppiatore ottico 16.

Il punto di funzionamento a riposo (ovvero in  
assenza di segnale modulante) dei suddetti modulatori  
15 di ampiezza 14 e 15, di cui può essere costituito il  
modulatore di fase e ampiezza QAM 10, sono posizionati  
su uno dei minimi della funzione di trasferimento  
elettro-ottica  $F(V)$  (definita come la relazione tra la  
potenza ottica in uscita e la tensione applicata in  
20 ingresso) di ognuno dei modulatori di ampiezza 14 e 15,  
la quale, come è noto, ha un andamento periodico di  
tipo coseno al quadrato in funzione della tensione  
applicata  $V$ , variabile fra un valore massimo ed un  
valore minimo tipicamente quasi nullo); come verrà  
25 meglio chiarito in seguito, ciò permette all'OVCO 4 di

funzionare in una modalità cosiddetta a portante  
soppressa e a generazione di singola sottoportante,  
grazie al segnale modulante sinusoidale in uscita  
dall'EVCO 8 (Single Side Sub Carrier Optical Phase  
5 Locked Loop - SS-SC-OPLL) e all'accoppiatore  
direzionale elettrico 11;

b) il rapporto di estinzione (Extinction Ratio) ER  
dei modulatori di ampiezza di cui è costituito il  
modulatore di fase e ampiezza QAM 10 è sufficientemente  
10 elevato ( $ER > 15$  db), tale rapporto di estinzione ER  
viene definito come:

$$ER = 10 \log_{10} \frac{\max[F(V)]}{\min[F(V)]}$$

c) l'ampiezza dei segnali elettrici modulanti  $V_{EIN1}$   
15 e  $V_{EIN2}$  forniti rispettivamente ai modulatori di ampiezza  
14 e 15 non è maggiore della tensione  $V\pi$ , definita come  
la differenza in tensione applicata  $V$  a ognuno dei  
modulatori di ampiezza 14 e 15 tra un punto di massimo  
ed un punto di minimo della funzione di trasferimento  
20 elettro-ottica  $F(V)$  dei modulatori d'ampiezza stessi.

Indicando con  $F_{LASER}$  la frequenza ottica della  
portante ottica  $S_{OC}$  generata dalla sorgente laser 9 e  
con  $F_{EVCO}$  la frequenza elettrica del segnale elettrico  
modulante  $V_{EVCO}$  generato dall'EVCO 8, lo spettro di  
25 potenza del segnale di uscita del modulatore ottico di

fase e ampiezza QAM 10 contiene:

- una riga spettrale principale alla frequenza  $F_{\text{LASER}} - F_{\text{EVCO}}$  (singola sottoportante);

- una riga spettrale spuria alla frequenza  $F_{\text{LASER}}$

5 - una riga spettrale spuria alla frequenza  $F_{\text{LASER}} + F_{\text{EVCO}}$

entrambe le righe spurie risultano attenuate rispetto alla riga spettrale principale di un fattore principalmente determinato dal rapporto di estinzione  
10 del modulatore per quanto concerne la riga spuria alla frequenza  $F_{\text{LASER}}$ , e di un fattore determinato congiuntamente dalle caratteristiche del modulatore ottico di fase e ampiezza QAM 10 e dell'accoppiatore  
15 spettrale spuria alla frequenza  $F_{\text{LASER}} + F_{\text{EVCO}}$ ;

- ulteriori righe spettrali spurie alle frequenze  $F_{\text{LASER}} - n \cdot F_{\text{EVCO}}$  e  $F_{\text{LASER}} + n \cdot F_{\text{EVCO}}$ , dove  $n$  è un numero intero maggiore di uno.

In questo modo, all'uscita del modulatore ottico  
20 di fase e ampiezza QAM 10, si ottiene un segnale ottico avente la riga spettrale principale (singola-sottoportante) la cui frequenza e fase ottica sono proporzionali al segnale elettrico di pilotaggio dell'EVCO 8, da cui il nome precedentemente citato di  
25 oscillatore ottico controllato in tensione a portante

soppressa e a generazione di singola sottoportante.

Sulla base di quanto sopra descritto, si evince immediatamente come la presente invenzione consente di realizzare, utilizzando componenti comunemente  
5 reperibili in commercio, un OVCO 4 avente la medesima funzionalità di un OVCO tradizionale realizzato mediante laser accordabili allo stato solido o a semiconduttore o di un OVCO basato sulla modulazione delle sottoportanti (SC-OPLL). Infatti, il segnale  
10 ottico  $\vec{S}_2$  fornito dall'OVCO 4 ha uno spettro ottico che è costituito da una riga spettrale principale (singola sottoportante), la cui frequenza e fase sono controllate direttamente dal segnale elettrico d'errore filtrato  $V_{PDF}$  in ingresso all'OVCO 4, ingresso che  
15 coincide con quello dell'EVCO 8.

Il funzionamento dell'OPLL 1 nel suo complesso è invece del tutto identico a quello di un OPLL tradizionale realizzato utilizzando un OVCO  
20 tradizionale realizzato mediante laser accordabili allo stato solido o a semiconduttore o un OVCO basato sulla modulazione delle sottoportanti (SC-OPLL).

Infatti, ipotizzando di scegliere la sola riga spettrale principale tra tutte quelle presenti nel segnale ottico  $\vec{S}_2$  (chiamata in seguito, per comodità,  
25 riga principale), la differenza fra la fase del segnale

ottico  $\vec{S}_1$  e la fase della riga principale del segnale  
ottico  $\vec{S}_2$  fornito dal rivelatore di fase 2 rappresenta  
un segnale d'errore utilizzato per pilotare l'EVCO 8,  
il quale fornisce in uscita una tensione sinusoidale  
5  $V_{EVCO}$  la cui frequenza è proporzionale a tale errore.

Pertanto, grazie al fatto che la fase della riga  
principale del segnale ottico  $\vec{S}_2$  in uscita dal  
modulatore ottico di fase e ampiezza QAM 10 segue le  
variazioni del segnale elettrico  $V_{PDF}$ , ed essendo  
10 quest'ultima funzione della frequenza  $F_{EVCO}$  del segnale  
sinusoidale  $V_{EVCO}$  fornito in uscita dall'EVCO 8, lo  
stato di funzionamento dell'OPLL 1 evolve in modo tale  
da annullare l'errore di fase esistente fra il segnale  
ottico  $\vec{S}_1$  e la riga principale del segnale ottico  $\vec{S}_2$ .

15 Infatti, utilizzando la riga principale ( $F_{LASER} -$   
 $F_{EVCO}$ ) dello spettro di potenza di uscita del modulatore  
ottico di fase e ampiezza QAM 10 e utilizzando un EVCO  
8 in cui la frequenza della tensione sinusoidale di  
uscita sia proporzionale al segnale di pilotaggio  
20 fornito al suo ingresso, se la frequenza (o la fase)  
del segnale ottico  $\vec{S}_1$  tende ad aumentare, allora anche  
la differenza fra la frequenza (o la fase) del segnale  
ottico  $\vec{S}_1$  e la frequenza (o la fase) della riga  
principale ( $F_{LASER} - F_{EVCO}$ ) del segnale ottico  $\vec{S}_2$  tende a  
25 crescere, e quindi anche l'ampiezza del segnale di

pilotaggio dell'EVCO 8 tende ad aumentare, facendo così crescere la frequenza  $F_{EVCO}$  della tensione sinusoidale  $V_{EVCO}$  fornita in uscita dall'EVCO 8, contrastando così l'aumento della differenza di frequenza (o di fase) tra  
5 il segnale ottico  $\vec{S}_1$  e la frequenza (o la fase) della riga principale ( $F_{LASER} - F_{EVCO}$ ) del segnale ottico  $\vec{S}_2$ .

Ovviamente, considerazioni analoghe possono essere fatte nel caso in cui, in seguito all'utilizzo di particolari categorie di modulatori e/o accoppiatori  
10 direzionali elettrici o particolari regolazioni, la riga principale sia quella a frequenza  $F_{LASER} + F_{EVCO}$  (e la riga a frequenza  $F_{LASER} - F_{EVCO}$  sia quindi quella spuria) dello spettro di potenza di uscita del modulatore ottico di fase e ampiezza QAM 10.

15 Secondo un ulteriore aspetto della presente invenzione, la scelta della riga spettrale dello spettro di potenza di uscita del modulatore ottico di fase e ampiezza QAM 10 che deve essere utilizzata come riga principale può essere effettuata regolando la  
20 frequenza ottica  $F_{LASER}$  della portante ottica  $S_{OC}$  fornita dal laser a semiconduttore a cavità esterna 9, in modo tale che la frequenza della riga principale sia la più prossima possibile alla frequenza  $F_{INGRESSO}$  del segnale ottico  $\vec{S}_1$ , ovvero sia all'interno della banda di  
25 aggancio dell'OPLL 1.



Infatti, supponendo ad esempio che la frequenza  $F_{\text{LASER}}$  sia prossima alla frequenza  $F_{\text{LASER}} - F_{\text{EVCO}}$  della riga spettrale principale dello spettro di potenza di uscita del modulatore ottico di fase e ampiezza QAM 10, dopo l'accoppiamento del segnale ottico  $\vec{S}_1$  con il segnale ottico  $\vec{S}_2$  così come generato dal modulatore ottico di fase e ampiezza QAM 10, ossia composto dalle righe spettrali alle frequenze  $F_{\text{LASER}}$ ,  $F_{\text{LASER}} - n \cdot F_{\text{EVCO}}$  e  $F_{\text{LASER}} + n \cdot F_{\text{EVCO}}$  ( $n \geq 1$ ), il battimento, introdotto dalla fotorivelazione, fra la frequenza del segnale ottico  $\vec{S}_1$ , ossia  $F_{\text{INGRESSO}}$ , e le tre frequenze principali dello spettro del segnale ottico  $\vec{S}_2$ , ossia  $F_{\text{LASER}}$ ,  $F_{\text{LASER}} - F_{\text{EVCO}}$  e  $F_{\text{LASER}} + F_{\text{EVCO}}$ , genererà una serie di righe spettrali a differenti frequenze in cui vi sarà una riga spettrale in banda base (esattamente a 0 Hz se l'OPLL 1 è agganciato) ed altre righe spettrali spurie a frequenze  $\pm n \cdot F_{\text{EVCO}}$ . Progettando opportunamente il filtro elettrico d'anello 3, tali righe spettrali spurie saranno eliminate grazie al suo filtraggio ed eventualmente a quello introdotto dal fotorivelatore 7.

Dopo il filtraggio introdotto dal filtro elettrico d'anello 3, rimarrà quindi in banda base unicamente il battimento tra la riga spettrale principale ed il segnale da agganciare, il quale rappresenta il segnale elettrico d'errore filtrato  $V_{\text{PDF}}$  utilizzato per pilotare

l'EVC0 8.

I principali vantaggi del SS-SC-OPLL secondo l'invenzione sono i seguenti:

- L'utilizzo di un modulatore ottico esterno e di un EVC0 permette un'estrema accuratezza nella sintesi della frequenza ottica, tanto che questa risulta limitata solo dalle caratteristiche dell'EVC0. Attualmente, gli EVC0 commerciali sono disponibili con frequenze elettriche anche molto elevate (50-60 GHz) e un campo di accordabilità relativamente ampio (~ 10-100 MHz). Le soluzioni alternative precedentemente menzionate (EVC0 a laser allo stato solido o a semiconduttore) richiedono invece un'estrema accuratezza nel controllo della corrente di polarizzazione del laser a semiconduttore modulato direttamente, la cui realizzazione è problematica.

- Lo schema di realizzazione dell'OVC0 proposto permette una traslazione in frequenza pressoché ideale, la cui linearità in funzione della tensione applicata è limitata solo dalla linearità del EVC0 e non dai componenti ottici utilizzati. Un ulteriore vantaggio è dovuto alla traslazione in frequenza non affetta da alcuna modulazione di ampiezza spuria, grazie al segnale in uscita dall'EVC0, la cui ampiezza è costante su tutto il suo campo di funzionamento. Nelle altre

soluzioni basate sul controllo diretto del laser a  
semiconduttore, la traslazione in frequenza è sempre  
accompagnata da una modulazione in ampiezza spuria che  
deve essere necessariamente compensata da un apposito  
5 circuito elettrico od ottico.

• Rispetto agli oscillatori ottici basati sulle  
sottoportanti (SC-OPLL) illustrati nelle domande  
menzionate in precedenza, lo schema di realizzazione  
proposto nella presente domanda genera un segnale  
10 agganciato  $S_2$  più puro spettralmente, infatti esiste  
una unica riga spettrale principale mentre nel caso  
SCOPLL le righe principale erano 2 e soltanto una  
veniva utilizzata per l'aggancio, mentre la seconda,  
quella non utilizzata, è una riga spuria di potenza  
15 uguale a quella utilizzata per l'aggancio che limita le  
applicazioni d'uso del PLL ottico, in particolare nel  
caso di sistemi a moltiplicazione di lunghezza d'onda  
(WDM).

• Il progetto del SC-OPLL proposto, basato su un  
20 EVCO ed un modulatore ottico esterno, la cui accoppiata  
risulta essere equivalente ad un OVCO, può essere  
effettuato sfruttando la teoria sui PLL elettrici ben  
conosciuta e sviluppata da tempo; le altre soluzioni,  
invece, richiedono uno specifico progetto basato sulle  
25 peculiarità del laser modulato direttamente che viene

utilizzato.

• Il laser utilizzato come oscillatore locale non è modulato (CW), quindi è possibile utilizzare un laser a semiconduttore a cavità esterna accordabile  
5 lentamente in lunghezza d'onda. Con questa soluzione si ha il vantaggio di avere sia un'accordabilità veloce su un limitato campo di frequenza grazie al OVCO, sia un'accordabilità lenta su un ampio campo di lunghezze d'onda, grazie al controllo diretto dei parametri,  
10 disponibile su ogni laser accordabile commerciale. Nelle altre soluzioni, invece, si richiedono sorgenti laser non commerciali da svilupparsi appositamente.

Risulta infine chiaro che agli SC-OPLL e OVCO qui descritti ed illustrati possono essere apportate  
15 modifiche e varianti senza per questo uscire dall'ambito protettivo della presente invenzione, come definito nelle rivendicazioni allegate.

Ad esempio, la condizione operativa per cui i punti di funzionamento a riposo dei modulatori di  
20 ampiezza interni al modulatore di fase e ampiezza 10 devono coincidere con i minimi delle funzioni di trasferimento elettro-ottiche  $F(V)$  dei modulatori stessi non è strettamente necessaria per il buon funzionamento dell'OVCO 4. Infatti, nel caso in cui  
25 tale condizione non fosse soddisfatta e quindi il punto

di funzionamento a riposo dei modulatori di ampiezza  
interni al modulatore di fase e ampiezza 10 non fosse  
su un minimo della funzione di trasferimento elettro-  
ottica del modulatore stesso, lo spettro di potenza del  
5 segnale di uscita del modulatore di fase ottico 10  
conterrebbe una riga spettrale alla frequenza  $F_{LASER}$   
avente un'ampiezza non trascurabile rispetto alla riga  
spettrale principale di interesse (singola  
sottoportante); tale riga spettrale verrebbe però  
10 comunque eliminata nel filtraggio effettuato dal filtro  
elettrico d'anello 3 ed eventualmente anche dal  
fotorivelatore 7.

Inoltre, il controllore di polarizzazione 5  
attraverso cui le polarizzazioni ottiche del segnale  
15 ottico da agganciare e del segnale ottico agganciato  
vengono mantenute parallele fra loro all'ingresso del  
fotorivelatore 7, non necessariamente deve essere  
disposto in corrispondenza dell'ingresso  
dell'accoppiatore ottico 6 sul quale giunge il segnale  
20 ottico da agganciare, ma può essere disposto in  
qualunque altro punto dell'OPLL 1 in cui, comunque,  
possa operare per mantenere parallele le polarizzazioni  
ottiche del segnale ottico da agganciare e del segnale  
ottico agganciato all'ingresso del fotorivelatore 7, ad  
25 esempio in uscita dal modulatore ottico 10.

Inoltre, come modulatore ottico non necessariamente deve essere utilizzato un modulatore di fase ottico ma può essere utilizzato qualunque altra tipologia di modulatore ottico utile alla generazione  
5 di una singola sottoportante.

Infine, dato che nell'OPLL (1) viene generata una singola sottoportante, a differenza del SC-OPLL, non si hanno vincoli sulla frequenza del segnale di uscita dell'EVCO 8.

10 Infine, l'EVCO 8 potrebbe essere di una tipologia differente da quella precedentemente descritta, ed in particolare, anziché essere un oscillatore elettrico controllato in tensione, potrebbe anche essere un oscillatore elettrico controllato in corrente. In  
15 quest'ultimo caso, quindi, l'OVCO 4 diventerebbe analogamente un oscillatore ottico controllato in corrente.

## RIVENDICAZIONI

1. Oscillatore ottico controllato elettricamente (4)  
per la generazione di una singola sottoportante  
5 ottica comprendente:

- mezzi oscillatori elettrici controllati elettricamente (8) aventi un ingresso ricevente un segnale elettrico di pilotaggio ( $V_{PDF}$ ) ed un'uscita fornente un segnale elettrico di  
10 pilotaggio ( $V_{EVC0}$ ) avente una frequenza ( $F_{EVC0}$ ) correlata a detto segnale elettrico di pilotaggio ( $V_{PDF}$ ); e
- una sorgente laser (9) non modulata fornente una portante ottica ( $S_{oc}$ ); e
- 15 • mezzi modulatori ottici (12) atti a generare una singola sottoportante ottica, aventi un ingresso ottico ricevente detta portante ottica ( $S_{oc}$ ), un ingresso elettrico ricevente detto segnale elettrico ( $V_{EVC0}$ ) ed un'uscita ottica fornente un  
20 segnale ottico modulato ( $\vec{S}_2$ ) ottenuto modulando detta portante ottica ( $S_{oc}$ ) con detto segnale elettrico ( $V_{EVC0}$ ).

2. Oscillatore ottico controllato elettricamente (4)  
25 secondo la rivendicazione 1, in cui detti mezzi

modulatori ottici (12) sono del tipo comprendente un modulatore ottico di fase e ampiezza QAM (10) ed un dispositivo elettrico (11) atto a generare due segnali elettrici alla stessa frequenza rispetto al segnale di ingresso.

3. Oscillatore ottico controllato elettricamente (4) secondo la rivendicazione 2, in cui gli ingressi elettrici di detto modulatore ottico di fase e ampiezza QAM (10) sono collegati alle uscite di detto dispositivo elettrico (11) atto a generare due segnali elettrici alla stessa frequenza rispetto al proprio segnale di ingresso.

4. Oscillatore ottico controllato elettricamente (4) secondo la rivendicazione 3, in cui detto dispositivo elettrico (11) è del tipo accoppiatore direzionale.

5. Oscillatore ottico controllato elettricamente (4) secondo la rivendicazione 3, in cui detto dispositivo elettrico (11) è del tipo accoppiatore ibrido a 90°.



6. Oscillatore ottico controllato elettricamente (4) secondo la rivendicazione 3, in cui detto dispositivo elettrico (11) è del tipo divisore di potenza.

5

7. Oscillatore ottico controllato elettricamente (4) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni 3 o 4 o 5, in cui almeno uno di detti due segnali in ingresso a detti mezzi modulatori ottici (12) è regolato in modo da ridurre al massimo l'ampiezza della portante ottica in uscita da detti mezzi modulatori ottici (12).

10

8. Oscillatore ottico controllato elettricamente (4) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti, in cui detta sorgente laser (9) è un laser a cavità esterna.

15

9. Anello ottico ad aggancio di fase (1), comprendente:

20

- mezzi rilevatori di fase ottici (2) aventi un primo ingresso ottico ricevente un segnale ottico da agganciare ( $\bar{S}_1$ ) ed un secondo ingresso ottico ricevente un segnale ottico agganciato ( $\bar{S}_2$ ) ed un'uscita elettrica fornente un segnale elettrico d'errore ( $V_{PD}$ ) indicativo della differenza fra la

25



fase di detto segnale ottico da agganciare ( $\vec{S}_1$ ) e la fase di detto segnale ottico agganciato ( $\vec{S}_2$ ); e

- mezzi oscillatori ottici controllati elettricamente (4) per la generazione di una  
5 singola sottoportante aventi un ingresso elettrico ricevente un segnale elettrico di pilotaggio ( $V_{PDF}$ ) correlato a detto segnale elettrico d'errore ( $V_{PD}$ ) ed un'uscita ottica fornente detto segnale ottico agganciato ( $\vec{S}_2$ );

10 caratterizzato dal fatto che detti mezzi oscillatori ottici controllati elettricamente (4) sono realizzati secondo una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti.

15 10. Anello ottico ad aggancio di fase (1) secondo la rivendicazione 9, in cui detti mezzi rilevatori di fase ottici (2) comprendono:

- mezzi accoppiatori ottici (6) aventi un primo  
20 ingresso ottico ricevente un segnale ottico da agganciare ( $\vec{S}_1$ ) ed un secondo ingresso ottico ricevente un segnale ottico agganciato ( $\vec{S}_2$ ) ed un'uscita ottica fornente un segnale ottico accoppiato ( $\vec{S}_3$ ); e

- mezzi fotorilevatori (7) ricevanti detto segnale ottico accoppiato ( $\bar{S}_3$ ) e fornenti detto segnale elettrico d'errore ( $V_{PD}$ ).

- 5 11. Anello ottico ad aggancio di fase (1) secondo la rivendicazione 10, in cui detti mezzi accoppiatori ottici (6) comprendono un accoppiatore ottico a 3 dB.
- 10 12. Anello ottico ad aggancio di fase (1) secondo la rivendicazione 10, in cui detti mezzi accoppiatori ottici (6) comprendono un accoppiatore ibrido a 90° ottico.
- 15 13. Anello ottico ad aggancio di fase (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 9 a 12, comprendente inoltre:
- mezzi di filtraggio elettrico d'anello (3) interposti fra detti mezzi rilevatori di fase ottici (2) e detti mezzi oscillatori ottici controllati elettricamente (4).
- 20
14. Anello ottico ad aggancio di fase (1) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 9 a 13, comprendente inoltre:
- 25

- mezzi di controllo della polarizzazione del segnale luminoso (5) posti a monte dell'ingresso del rivelatore di fase ottico (2).

5

15. Anello ottico ad aggancio di fase (2) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 9 a 14, comprendente inoltre:

- mezzi di amplificazione ottica (17) interposti fra detti mezzi modulatori ottici (12) e detti mezzi rivelatori di fase ottici (2).

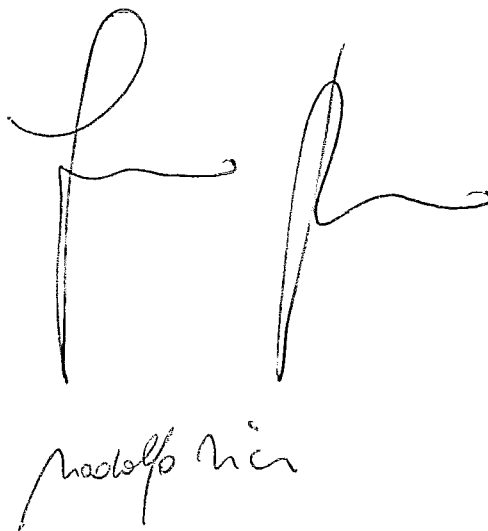
10

16. Anello ottico ad aggancio di fase (2) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 9 a 15, comprendente inoltre:

15

- mezzi di filtraggio ottico (18) interposti fra detti mezzi modulatori ottici (12) e detti mezzi di amplificazione ottici (17).

20



Rodolfo Nic

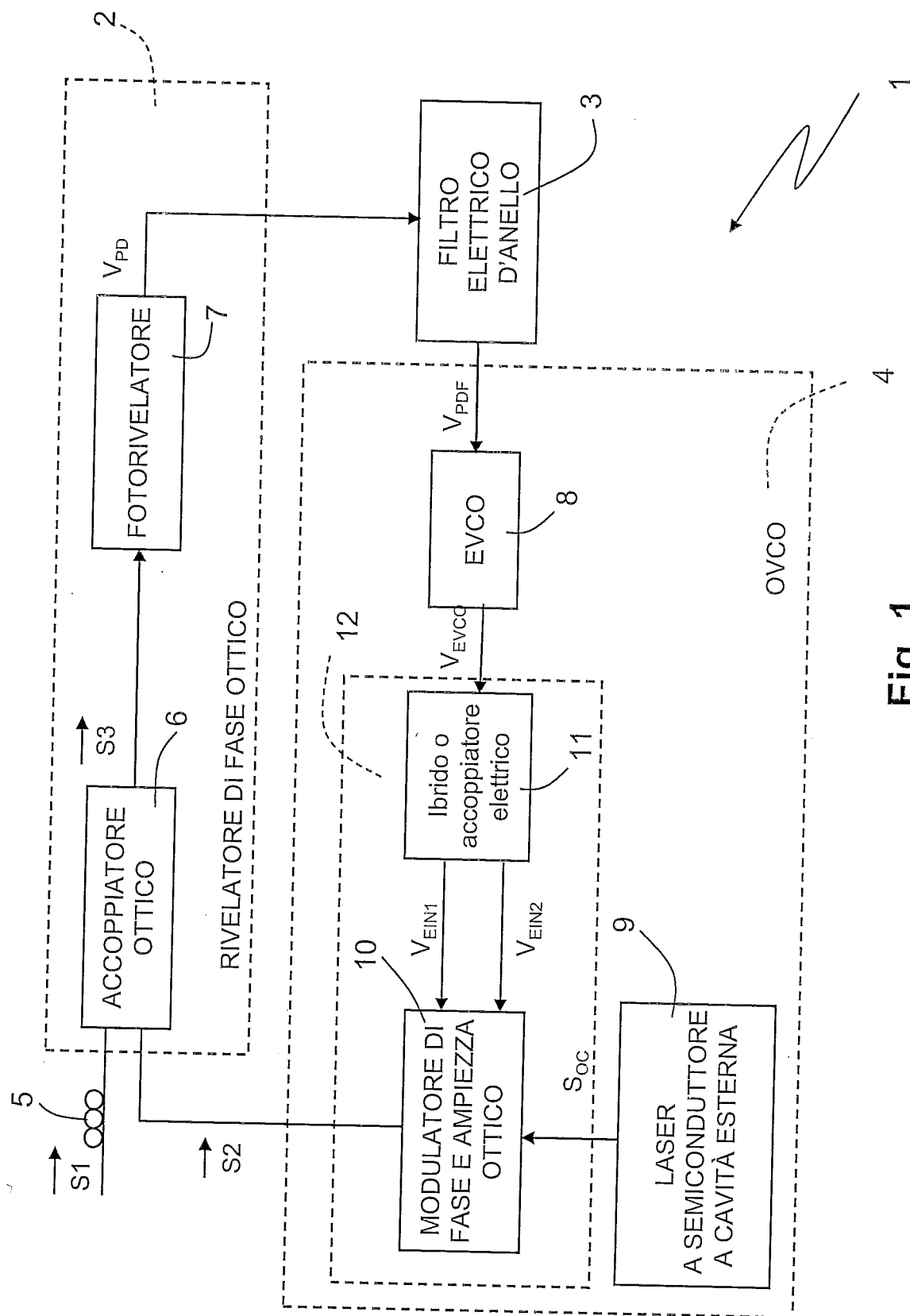


Fig. 1

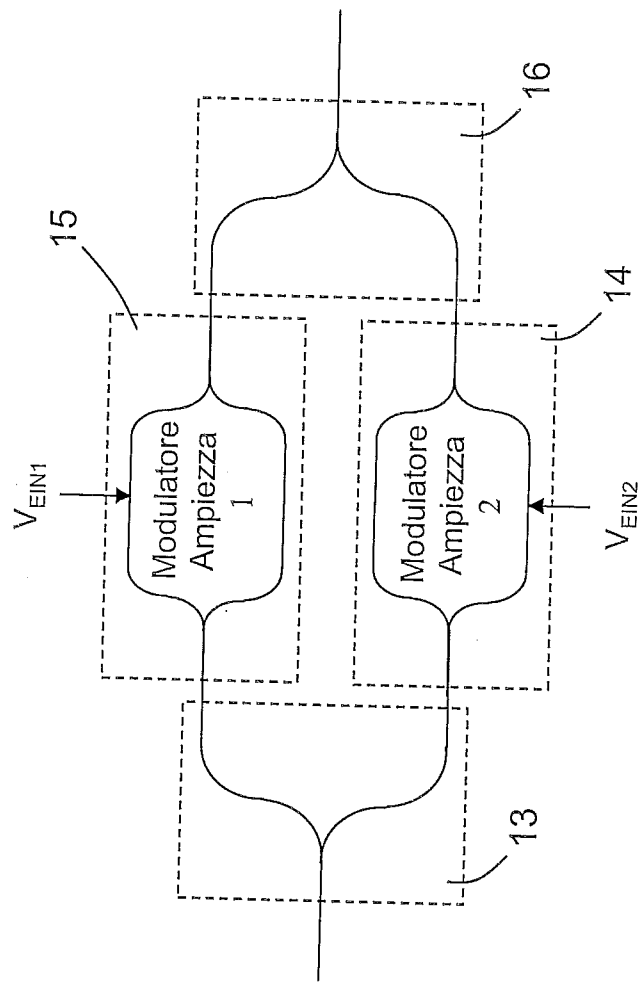


Fig. 2

prodotto via

TEP

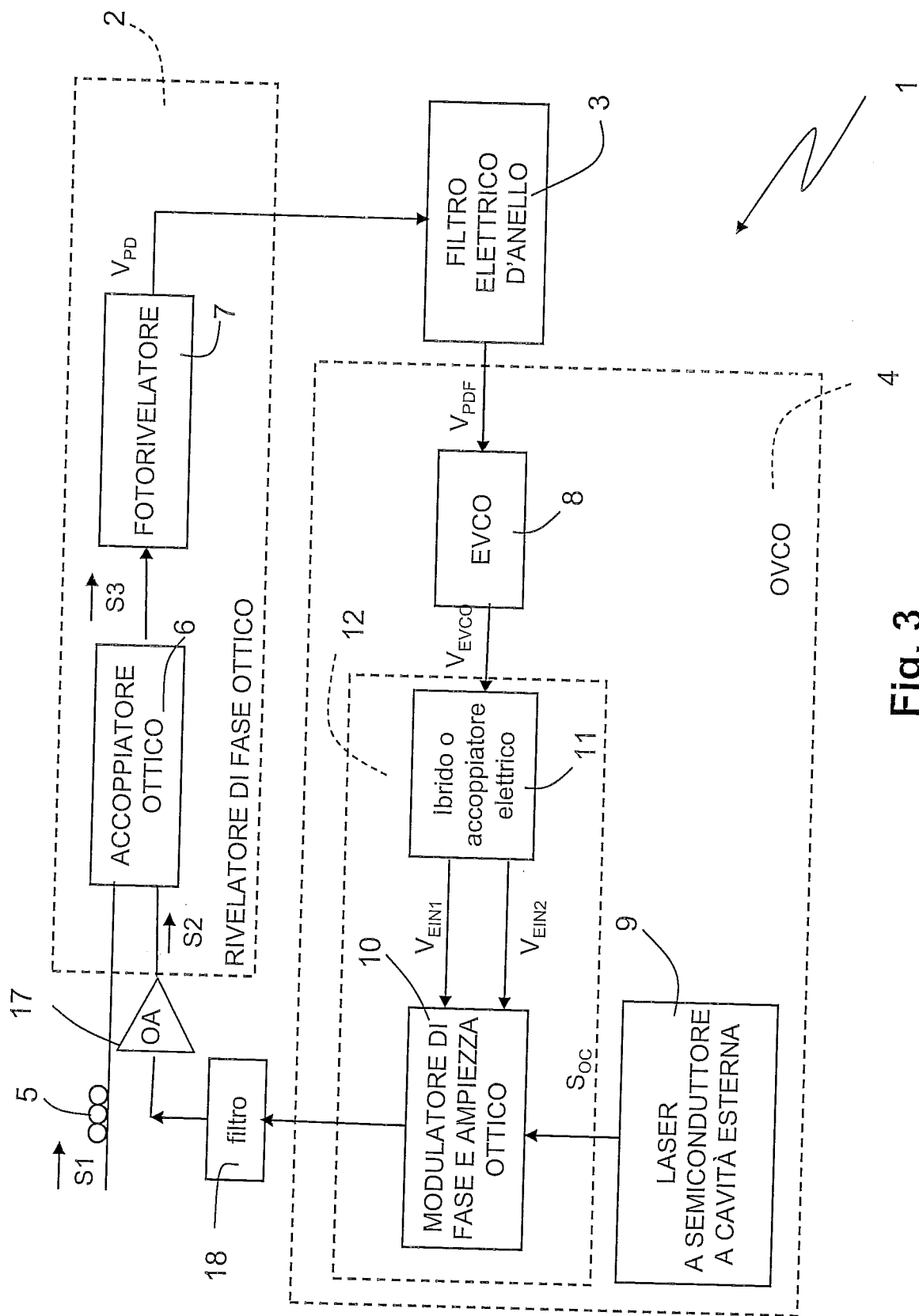


Fig. 3